REVUE DES SCIENCES DE L'EAU, Rev. Sci. Eau 18/2(2005) 215-224

Le comportement d'un système hydrologique en climat méditerranéen par l'analyse corrélatoire et spectrale des débits et des pluies. Cas de trois sous bassins sud-méditerranéens : (oued Sebdou, Moulah et Isser - Tafna - NW Algérie)

The behaviour of a hydrologic system under a Mediterranean climate using correlation and spectral analysis of the water discharge and runoff. Case of three south Mediterranean basins: (Sebdou, Mouilah and Isser wadis - Tafna - Algeria)

A. BOUANANI[1], K. BABA HAMED[2], J. MANIA[3], M. BENSALAH[2].

Reçu le 12 juillet 2004, accepté le 12 janvier 2005*.

SUMMARY

The aim of this work was to show that correlation and spectral analyses can be used to understand the functioning of hydrological systems. Accordingly, a study was carried out on three southern Mediterranean basins: Sebdou; Mouilah and Isser; located in the north western of Algeria (figure 1). Correlation and spectral analyses of daily rainfall and discharge rates for one hydrological cycle were carried out.

• Simple analysis

Simple analysis of rainfall showed that the correlograms (figure 2) decreased rapidly for the three basins, reaching a value of 0.2 within 1-2 days. This result indicated that rainfall was a quasi-random phenomenon. The variance density spectrum (figure 3) showed that the rainfall distribution was not monotonous and presented a "Leigh" signal structure.

The simple analysis of discharge rates indicated that the Sebdou system was different. The correlogram (figure 4a) decreased quickly, characterising independent events without memory and with non-significant amounts of water. However, the Mouilah and Isser correlograms (figure 4 b, c)

1. Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université Abou Bakr Belkaïd, BP119 Tlemcen 13 000, Algérie E-mail: a_bouananidz@yahoo.fr
2. Département des Sciences de la terre et d'Agronomie, Faculté des Sciences, Université Abou Bakr Belkaid, BP 119 Tlemcen 13 000 Algérie.
3. LML - UMR CNRS 8107 - USTL Département de géotechnique et du génie civil, E. P. U de Lille, avenue Paul Langevin - 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France.

* Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 avril 2006.

decreased slowly. They represent important memory effects with regulation of significant amounts of water. The spectral band (figure 5) confirmed that the Sebdou system did not modify the input information. The regulation time was about 5 d for Sebdou, 21 and 43 d respectively for Mouilah and Isser.

• Cross analysis

The correlograms (figure 6) show that the Mouilah and Isser rivers have a great buffering ability. The Sebdou River was characterised by a composite response of the surface flow and an important groundwater flow. The amplitude function (figure 7) indicated that the Sebdou system had good inertia. The lag time (figure 8) was 9, 2 and 5 days respectively for the Sebdou, Mouilah and Isser rivers. The amplification and attenuation of the input signal (figure 10) show that the Sebdou basin is the most karstified system. The non-linearity of the relationship between rainfall and discharge was expressed by the coherence coefficient (figure 9), which was lower than 1.

Keywords: *correlation and spectral analysis, rainfall-discharge relation, Tafna basin, Algeria.*

RÉSUMÉ

Les analyses corrélatoire et spectrale des chroniques de la pluie (entrée) et de débits (sortie) journaliers enregistrés au niveau des trois bassins sud méditerranéens Sebdou, Mouilah et Isser durant un seul cycle hydrologique nous ont permis d'obtenir des informations sur le fonctionnement de ces systèmes hydrologiques. Bien que la structure du signal « pluie » semble présenter les mêmes caractéristiques pour les trois bassins, le signal de sortie « débit » indique que l'oued Sebdou réagit différemment par rapport aux oueds Mouilah et Isser.

Mots-clés : *analyse corrélatoire et spectrale, relation pluie - débits, bassin de la Tafna, Algérie.*

1 – INTRODUCTION

Les analyses corrélatoire et spectrale des chroniques d'entrée et de sortie d'un système permettent d'obtenir des informations sur le fonctionnement de ce système, à partir de l'analyse de la structure de la totalité des chroniques de pluies et de débits.

Dans un premier temps, il faudra donc analyser les informations contenues dans la chronique des débits (structure du signal de sortie). Il sera alors possible de détecter quelles informations sont conservées, éliminées ou modifiées. Enfin, une analyse pluie – débit (entrée – sortie) va permettre d'apprécier de quelle manière les informations d'entrée sont reproduites à la sortie.

Pour plus de détail, le développement complet de la théorie est donné par MAX (1980), MANGIN (1984), BOX *et al.* (1994) et DUAN *et al.* (1998).

Cette approche a été utilisée le plus souvent pour l'étude de la réponse (débits des sources) des systèmes hydrogéologiques en milieux karstiques en

France par MANGIN (1984), et LAROCQUE *et al.* (1998), au Maroc par HSISSOU (1991), EL OUALI (1992), et BOUCHAOU *et al.* (2002) et en Algérie par ABDESSELAM (1995).

L'objectif de ce travail est de montrer que cette approche peut être utilisée pour la compréhension et la caractérisation d'un système hydrologique en étudiant la réponse aux entrées pluies de l'écoulement global (souterrain et de surface) à l'aval d'un système karstique méditerranéen.

2 - MÉTHODODOLOGIE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

L'analyse a porté sur les pluies et débits journaliers enregistrés au niveau des bassins versants des oueds Sebdou (255,5 km^2), Mouilah (2 650 km^2) et Isser (1 140 km^2), affluents importants de l'Oued Tafna dans le Nord - Ouest algérien (figure 1), durant le cycle hydrologique (1996-1997). Pour les données de pluie, nous avons choisi les données enregistrées respectivement aux stations de Beni Bahdel, Maghnia et Chouly, situées à l'intérieur des bassins et considérées comme représentatives MEGNOUNIF *et al.* (1999). L'année 1996/97, représente une année commune pour les trois bassins, dont les données pluviométriques et hydrométriques ne présentent pas de lacunes. Le traitement des chroniques des données a été réalisé en utilisant le logiciel STOCHASTOS (D'HULST, 1978).

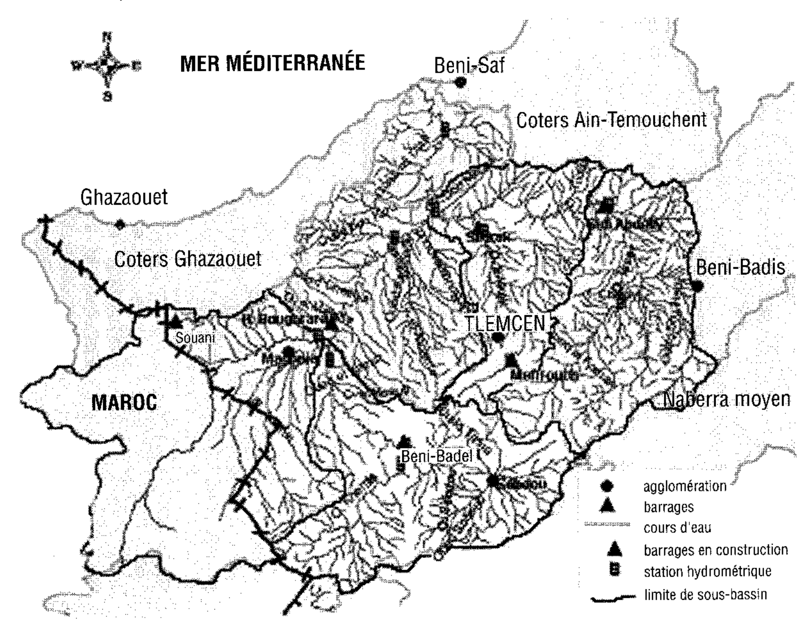


Figure 1 Situation géographique des bassins du Sebdou, du Mouilah et de l'Isser (Tafna, NO algérien).

Location of the Sebdou, Mouilah and Isser catchements (Tafna, NW Algeria.

2.1 Analyse simple

L'analyse simple des entrées pluies montre que les corrélogrammes (figure 2) décroissent rapidement pour les trois bassins et la valeur de 0,2 est atteinte après 1 à 2 jours. Ceci indique un processus quasiment aléatoire. Les spectres de la densité de variance (figure 3), montrent que la répartition des pluies n'est pas monotone, traduisant une légère structuration du signal «pluie».

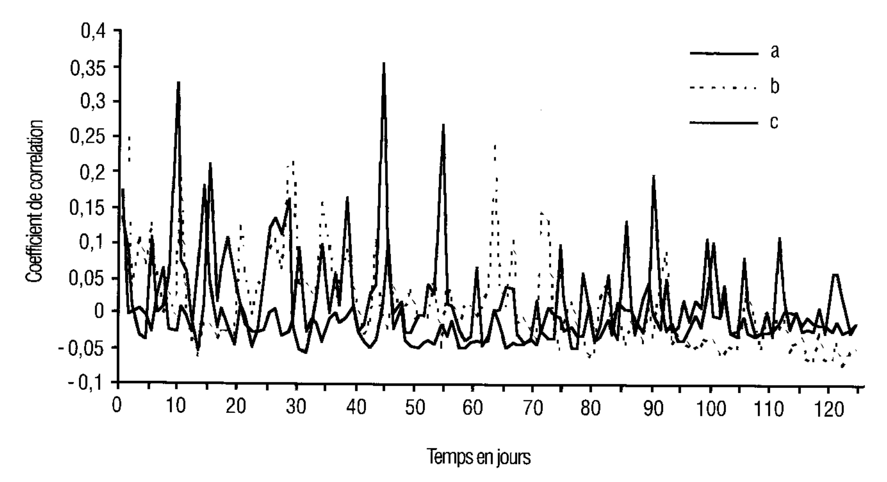


Figure 2 Corrélogrammes des pluies aux stations de Béni Bahdel (a), Maghnia (b) et Chouly (c) montrant un phénomène aléatoire.

Correlograms of rainfall at the Beni Bahdel (a), Maghnia (b) and Chouly (c) stations, showing a stochastic phenomenon.

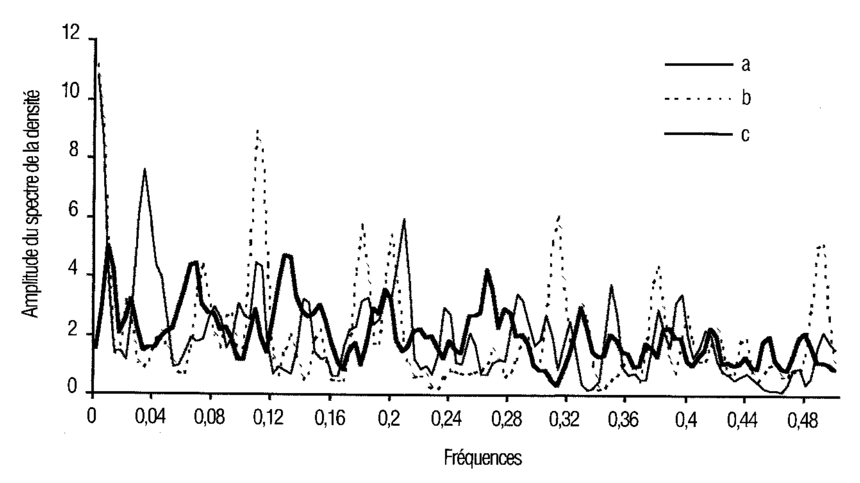


Figure 3 Spectres de la densité de variance des pluies aux stations de Béni Bahdel (a), Maghnia (b) et Chouly (c) montrant une variation périodique.

The variance density spestrum of rainfall at the Beni Bahdel (a), Maghnia (b) and Chouly (c) stations showing a periodic evolution.

L'analyse simple des débits montre que le système du bassin du Sebdou est différent. Le corrélogramme (figure 4a) décroît rapidement, caractérisant des événements indépendants sans mémoire. De ce fait il est bien drainé avec des réserves en eau négligeables. Cependant, les corrélogrammes (figure 4b et 4c) des bassins du Mouilah et de l'Isser décroissent lentement. Ils montrent un effet mémoire important et une régulation des deux bassins par des réserves plus ou moins considérables.

La bande spectrale est très large pour les débits du Sebdou (figure 5a), ce qui confirme que le système ne modifie pas les informations de la fonction d'entrée (pluie). Le temps de régulation est de 5 jours pour le Sebdou, 21 et 43 jours pour le Mouilah et l'Isser.

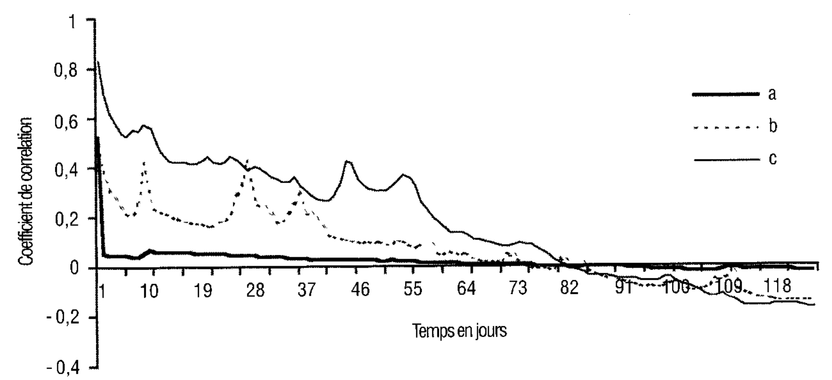


Figure 4 Corrélogrammes des débits des oued Sebdou (a), Mouilah et Isser (c) montrant l'absence de mémoire du stockage en eau du Sebdou et de bonnes réserves pour l'Isser.

Discharge correlograms of the Sebdou (a) Mouilah (b) and Isser (c) Wadis showing the absence of memory of water reserves for the Sebdou and good reserves in the case of Isser.

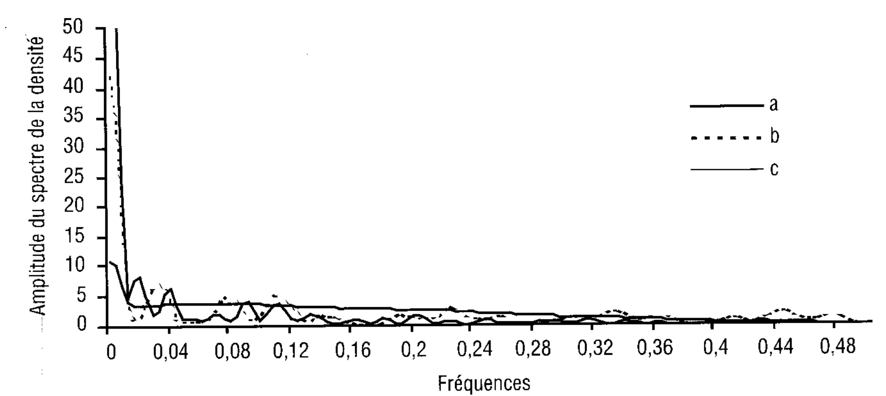


Figure 5 Spectres de la densité de variance des débits des oueds Sebdou (a), Mouilah (b) et Isser (c). On remarque l'étroitesse de la bande spedtrale pour le Mouilah et l'Isser.

The variance density spectrum for discharge for the Sebdou (a), Mouilah (b) and Isser (c) wadis. Note that the spectrum band for the Muoilah and the Isser wadis is tight (narrow small).

2.3 Analyse croisée

Les corrélogrammes (figure 6), montrent que les oueds Mouilah et Isser présentent un pouvoir régulateur important. L'oued Sebdou est caractérisé par une réponse composite avec un ruissellement de surface et un écoulement souterrain plus important. La fonction d'amplitude (figure 7), relate que l'oued Sebdou constitue un système plus inertiel.

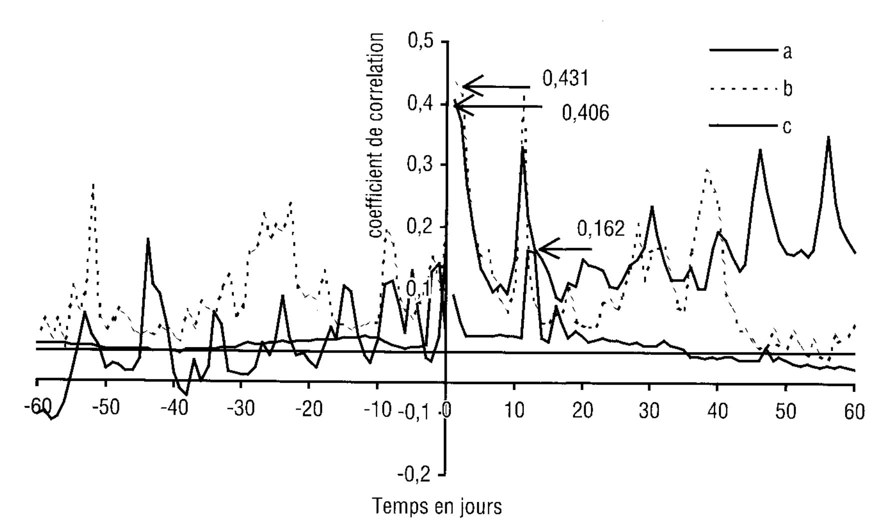


Figure 6 Corrélogramme croisé – dédits des oueds Sebdou (a). Mouilah (b) et Isser (c).

Cross-analysis of rainfall and discharge for the Sebdou (a), Mouilah (b) and Isser (c) wadis.

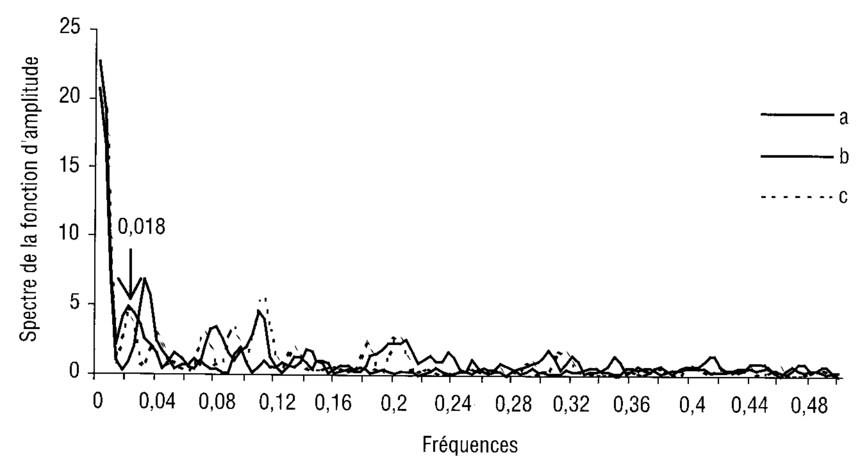


Figure 7 Variation au cours du temps de la fonction amplitude pour les oueds Sebdou (a) Mouilah (b) et Isser (c), indiquant les réponses inertielles différentes entre le Sebdou et les autres oueds.

Temporal variation of the amplitude for the Sebdou (a), Mouilah (b) and Isser (c) wadis, indicating the difference between the inertia response of the Sebdou and that of the two other wadis.

Le temps de déphasage (figure 8), est respectivement de 9, 2 et 5 jours pour les bassins du Sebdou, du Mouilah et de l'Isser. La non-linéarité de la relation pluie – débits est exprimée par le coefficient de cohérence (figure 9) inférieur à 1. Ceci s'explique par l'action des caractéristiques physico-géologiques qui peuvent accélérer ou réduire le temps de réponse des bassins à l'excitation du signal pluie.

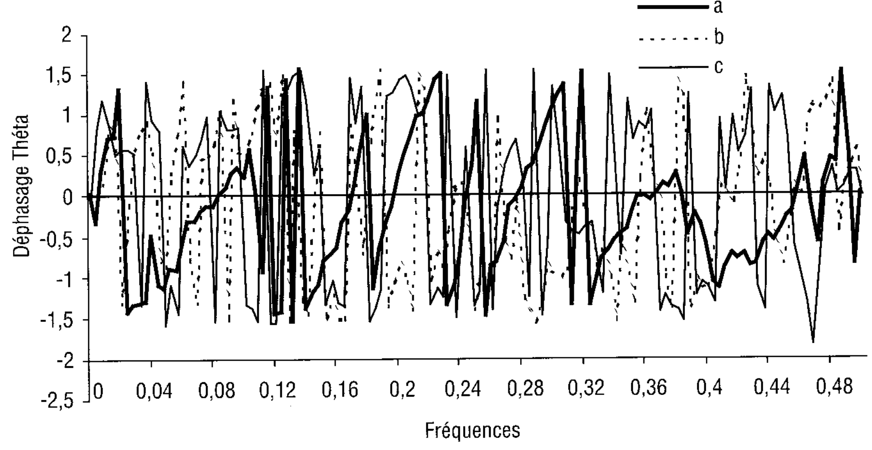


Figure 8 Évolution de la fonction de phase θ pour les oueds Sebdou (a), Mouilah (b) et Isser (c) indiquant un temps de déphasage trés important du Sebdou.

The evolution of the phase function for the Sebdou (a), Mouilah (b), and Isser (c) wadis, indicating the important lag time for the Sebdou.

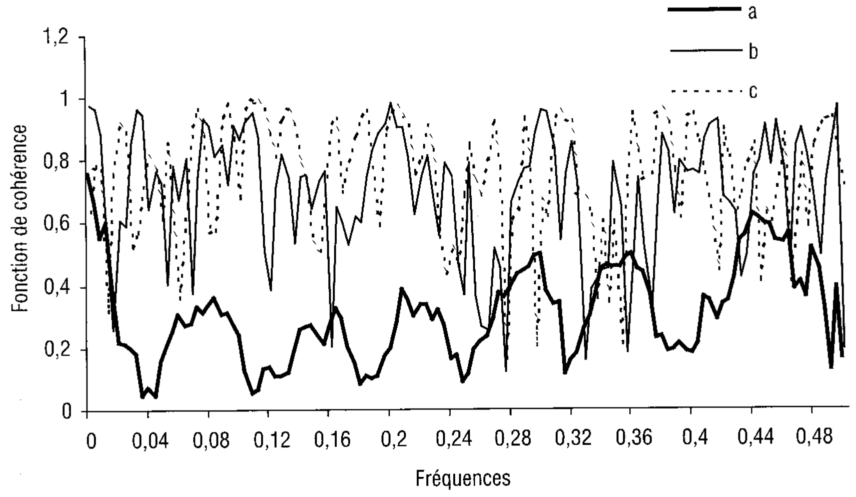


Figure 9 Variation de la fonction de cohérence pour les oueds Sebdou (a), Mouilah (b) et Isser (c) montrant des réponses non linéaires.

The coherence function variation for the Sebdou (a), Mouilah (b) and Isse (c) wadis shwing non-linear responses.

L'amplification et l'atténuation du signal d'entrée (figure 10), montre que le bassin du Sebdou représente le système plus karstifié.

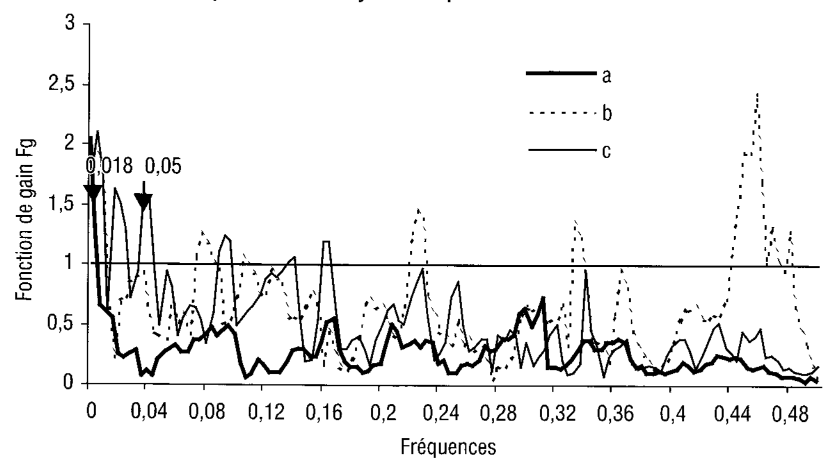


Figure 8 Variation de la fonction de gain pour les oueds Sebdou (a), Mouilah (b) et Isser (c). On peut voir le déstockage rapide de réserves de Sebdou.

Gain function variation for the Sebdou (a), Mouilah (b), and Isser (c) wadis showing the rapid decrease of the water reserves for the sebdou system.

3 - DISCUSSION ET CONCLUSION

L'analyse corrélatoire et spectrale a permis de mettre en évidence la structure de la totalité des chroniques d'entrée (pluie) et de sortie (débits). En effet, nous avons pu dégager le caractère quasiment aléatoire des pluies au niveau des trois bassins témoignant d'un régime climatique méditerranéen à tendance semi-aride vis-à-vis des pluies peu fréquentes, irrégulières et violentes (MEGNOUNIF *et al.*, 1999). Le même résultat a été obtenu dans les Monts du Djurdjura (ABDESSELEM, 1995) et au Maroc dans le Tadla par (HSISSOU, 1991), dans le Haut Atlas d'Errachidia (AMHARREF, 1991 et EL OUALI, 1992), dans l'Atlas de BÉNI MELLAL BOUCHAOU *et al.*, (2002) et dans le moyen Atlas d'Oum Er Bia (KHALIL, 2002). Quant à la réponse des différents systèmes à ces pluies, l'analyse corrélatoire et spectrale montre que le bassin de Sebdou ne réagit pas de la même façon que les deux autres. En effet l'oued Sebdou représente bien l'exutoire d'un système hydrogéologique bien karstifié et bien drainé (COLLIGNON, 1993 et BABA HAMED, 2001). L'information du signal pluie est bien restituée. Les bassins des oueds Mouilah et de l'Isser avec une superficie plus importante, représentent deux systèmes assez semblables sur le plan géologique. La réponse des deux bassins aux entrées pluie montre qu'il s'agit de deux systèmes où la partie Karstique n'est pas importante (BABA HAMED *et al.*, 2001).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABDESSELAM M. 1995. Structure et fonctionnement d'un karst de montagne sous climat méditerranéen: exemple du Djurdjura occidental (Grande Kabylie - Algérie). Th. Doc. Univ. Franche-Comté, Besançon, 232p.

AMHARREF A. 1991. Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée du Ziz (province d'Errachidia, sud-est du Maroc). Incidences respectives de la sécheresse et du barrage Hassan Addakhil sur les sources en eau à l'aval. Th. Univ. Franche Comté, Besançon, 232p.

BABA-HAMED K. 2001. Contribution à l'étude hydrologique de trois sousbassins de la Tafna (bassin du Sebdou, du Mouilah et de l'Isser). Thèse de Magister. Univ. Oran. 195p.

BABA-HAMED K., BOUANANI A., HAYANNE S.M. 2001. L'étiage des plus importants sous bassins de la Tafna (Sebdou, Mouilah, et Isser): Analyse et quantification. Sem. Nat. Sur l'eau, Tlemcen, le 5 et 6 novembre.

BOUCHAOU L., MANGIN A., CHAUVE P. 2002. Turbidity mechanism of water from a karstic spring: example of the Ain Asserdoune spring (Beni Mellal Atlas, Marocco). Journal of Hydrology 265 (2002), p. 34 – 42.

BOX G.E.P, JENKINS G., M. REINSELL G.C. 1994. Time serie analysis, forecasting and control. 3rd Ed. Prentice Hal in. Englewood Cliffs. NJ. USA. 575p.

COLLIGNON B., 1993. Les aquifères karstiques des monts de Tlemcen (Algérie), ressource en eau et exploitation. 11th UIS, Congress, Beijing, China, august 1993. Procedings, p.166.

DUAN F., MELAUGHLI D. 1998. An efficient multivariate random field generation using the first Fourier transformation. Advances in Water Ressources 21, pp. 385-399.

D'HULST. D. 1978. Manuel d'utilisation du logiciel STOCHASTOS version 3.0. Variables régionalisées et approche stochastique. C.N.R.S. Lab. Souterrain. Moulis. Saint Girons. 41 p.

EL OUALI A. 1992. Contribution du Haut Atlas central au Sud de Midelt à l'alimentation des aquifères profonds du bassin du Crétacé d'Errachidia (Maroc). Th. Doc. Univ. Franche-Comté, Besançon, 234 p.

HSISSOU Y. 1991. L'aquifère des calcaires turoniens (bassin de Tadla, Maroc). Alimentations locales et lointaines à partir de l'Atlas. Th. Univ. Franche-Comté, Besançon, 196 p.

KHALIL N. 2002. Démarche méthodologique pour une meilleure connaissance de l'hydrologie et de la géochimie des aquifères de moyenne montagne: cas du haut bassin d'Oum Er Bia (Moyen Atlas, Maroc).Th. Doc. Etat. Univ. Cadi Ayad, Marrakech, 196p.

LAROCQUE M. , MANGIN A., RAZACK M., BANTON O. 1998 Contribution of correlation and spectral analysis to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). Publ. Journal of hydrology, 205, pp. 217-231.

MANGIN A. 1984. Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale. Journal of Hydrology, 67, pp. 25-43.

MAX. M. 1980. Méthodes et techniques de traitement du signal et application aux mesures physiques, 2e édition; Masson, Paris.

MEGNOUNIF. A., BOUANANI. A., TERFOUS. A et BABA HAMED. K. (1999) - Distributions statistiques de la pluviométrie et mise en évidence de l'influence du relief (cas des monts de Tlemcen , Nord-ouest algérien). Rev. Sci. & Tech. n° 12 pp. 77 – 80, 6 fig.